



دانشکده مهندسی علوم آب  
گروه سازه‌های آبی

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

بررسی پدیده آبشستگی در محل پایه‌های پل با استفاده از مدل *FASTER*  
(مطالعه موردی پل مشراکه)

نگارش:

مریم شیخ‌الاسلامی

استاد راهنما:

دکتر محمود شفاعی بجستان

استاد مشاور:

دکتر سید محمود کاشفی پور

شهریور ماه ۱۳۸۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم بہ

پدر و مادر عزیزم

سپاس...

سپاس آفریننده بی‌همانند را که زندگی ام، بخشید تا سر تسلیم و بندگی بر آستان مهر آفرین او فرود آورم.

و با زرف‌ترین سپاس ها:

- از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر محمود شفاعی، بختان به پاس راه‌نماییها و لطف بی‌پایانشان.
- از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر سید محمود کاشفی پور برای دانش فراوان و زحمات بی‌دریغشان.

و سپاس فراوان:

از تمام کسانی که برای نخواستن این تحقیق یاری ام نمودند.

## تشکر و قدردانی

بخشی از هزینه این مطالعه توسط اداره کل راه و ترابری استان خوزستان بر اساس قرارداد شماره

۵۹۳۹۷ مورخ ۱۳۸۷/۱۲/۱۲ تأمین شده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

نام خانوادگی: شیخ الاسلامی	نام: مریم
عنوان پایان نامه: بررسی پدیده آبشستگی در محل پایه‌های پل با استفاده از مدل FASTER ( مطالعه موردی پل مشراکه)	
استاد راهنما: دکتر محمود شفاعی بجستان	استاد مشاور: دکتر سید محمود کاشفی پور
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	گرایش: سازه‌های آبی
محل تحصیل: دانشگاه شهید چمران اهواز	دانشکده: مهندسی علوم آب
تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۸۹/۶/۳۰	تعداد صفحات: ۱۱۹
واژه های کلیدی: آبشستگی، پایه پل، روابط تجربی، مدل FASTER.	
<p><b>چکیده:</b></p> <p>پل‌ها از جمله مهمترین سازه های رودخانه‌ای هستند. یکی از مؤثرترین عوامل تخریب پل‌ها، آبشستگی موضعی اطراف پایه پل می‌باشد. همه ساله پل‌های زیادی در سراسر جهان به دلیل در نظر نگرفتن نقش عوامل هیدرولیکی تخریب می‌شوند. بر این اساس برای یک طراحی مطمئن، تخمین دقیق عمق آبشستگی در اطراف پایه‌های پل ضروری به نظر می‌رسد. این مطالعه به منظور برآورد عمق آبشستگی در محل پایه‌های پل مشراکه صورت گرفت. پل فلزی مشراکه در نزدیکی شهرستان رامشیر بر روی رودخانه جراحی احداث گردیده است. ابتدا معادلات هیدرودینامیک جریان در رودخانه (معادلات سنت-نانت) با استفاده از مدل FASTER بصورت عددی حل شدند. داده‌های مورد نیاز برای مدلسازی دینامیک جریان شامل مقاطع عرضی، تعداد مقاطع، فاصله مقاطع از یکدیگر به صورت تجمعی، هیدروگراف سیل در بالادست، منحنی دبی-اشل در پایین‌دست و ضریب زبری منطقه می‌باشد. فرض بر این است که جریان در رودخانه زیربحرانی بوده و کلیه محاسبات از پایین دست به بالا دست انجام می‌شود. مهمترین خروجی‌های این بخش شامل دبی جریان، سرعت متوسط جریان و تراز سطح آب می‌باشد. روابط تجربی محاسبه عمق آبشستگی نیز به صورت زیربرنامه برای مدل تعریف شده‌اند. با استفاده از داده‌های شرایط هیدرولیکی، مشخصات هندسی پایه پل و مشخصات مربوط به مواد بستر، عمق آبشستگی در محل پایه‌ها بوسیله فرمول‌های معرفی شده و به‌ازای دبی‌های مختلف برآورد گردید. میزان عمق آبشستگی به‌ازای دبی با دوره بازگشت‌های ۲ ساله، ۵ ساله، ۱۰ ساله، ۲۵ ساله، ۱۰۰ ساله محاسبه شد. از آن جایی که دوره بازگشت متوسط سیل سالیانه ۲/۳۳ ساله است (گرید و همکاران، ۱۹۹۸) و آبشستگی محلی پیرامون پایه‌های پل نیز فرآیند نسبتاً سریعی است، بنابراین برای برآورد عمق آبشستگی در محل پایه‌های پل معمولاً دبی سیل با دوره بازگشت ۲ ساله مد نظر قرار می‌گیرد. عمق اندازه‌گیری شده‌ی آبشستگی در محل پایه حدود ۲ متر می‌باشد. مقایسه نتایج حاصل از روابط تجربی و مقدار واقعی اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد روابط فروهلیچ (۱۹۹۶) و جانسون (۱۹۹۵) نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهند و روابط جین - فیشر (۱۹۷۷)، ملویل - ساترلند (۱۹۸۸) و ملویل (۱۹۹۷) عمق آبشستگی را بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. نتایج بدست آمده از این تحقیق با نتایج بدست آمده از جانسون (۱۹۹۵)، گرید و همکاران (۱۹۹۸) و احمد و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت دارد.</p>	

## فهرست

### فصل اول: مقدمه و هدف

۱.....مقدمه.....۱

### فصل دوم: پدیده آبشستگی در محل پایه‌های پل

۷.....۱-۲ مقدمه.....۷

۸.....۲-۲ آبشستگی پایه پل.....۸

۹.....۱-۲-۲ آبشستگی عمومی.....۹

۱۰.....۲-۲-۲ آبشستگی ناشی از تنگ‌شدگی.....۱۰

۱۱.....۳-۲-۲ آبشستگی پایه کناری پل.....۱۱

۱۲.....۴-۲-۲ آبشستگی موضعی پایه‌های پل.....۱۲

۱۳.....۱-۴-۲-۲ مکانیزم آبشستگی.....۱۳

۱۵.....۲-۴-۲-۲ عمق آبشستگی متعادل.....۱۵

۱۸.....۳-۴-۲-۲ بررسی متغیرهای مؤثر بر آبشستگی محلی پایه پل.....۱۸

۲۰.....۴-۴-۲-۲ تخمین آبشستگی موضعی در اطراف پایه‌های پل.....۲۰

۲۱.....۱-۴-۴-۲-۲ روابط تجربی آبشستگی.....۲۱

### فصل سوم: مدل‌های ریاضی آبشستگی و مروری بر تحقیقات گذشته

۳۶.....۱-۳ مقدمه.....۳۶

۳۶.....۱-۱-۳ مدل شبه دو بعدی BRI-STARS.....۳۶

۳۹.....۲-۱-۳ مدل یک بعدی HEC-RAS.....۳۹

۴۱.....۳-۱-۳ مدل سه بعدی FLUENT.....۴۱

۴۳.....SSIIM مدل سه بعدی ۴-۱-۳

۴۵.....۲-۳ مروری بر تحقیقات گذشته

### فصل چهارم: معرفی مدل FASTER

۵۲.....۱-۴ مقدمه

۵۲.....۲-۴ معادلات هیدرودینامیک حاکم بر جریان یک بعدی

۵۳.....۱-۲-۴ رابطه پیوستگی یک بعدی در رودخانه‌ها

۵۴.....۲-۲-۴ معادلات یک بعدی اندازه حرکت در رودخانه‌ها

۵۶.....۳-۴ حل عددی معادلات حاکم

۵۸.....۱-۳-۴ روش‌های تفاضل محدود

۶۳.....۲-۳-۴ خواص روش‌های عددی

۶۴.....۳-۳-۴ شرایط اولیه و مرزی

۶۵.....۴-۴ معرفی مدل FASTER

۶۷.....۱-۴-۴ حل عددی معادلات هیدرودینامیکی جریان در مدل FASTER

۶۸.....۱-۱-۴-۴ معادله پیوستگی

۶۹.....۲-۱-۴-۴ معادله مومنتم

### فصل پنجم: مواد و روش‌ها

۷۲.....۱-۵ موقعیت منطقه مورد مطالعه

۷۴.....۲-۵ رسوبات و مواد بستر رودخانه

۷۴.....۱-۲-۵ آبرفت‌های رودخانه‌ای جدید (QAL)

۷۷.....۲-۲-۵ پادگانه‌های آبرفتی قدیمی (QT1 و QT2)



۳-۵ شناسایی شبکه اصلی برای ایستگاه‌های نقشه‌برداری.....۷۹

۱-۳-۵ اندازه‌گیری مسطحاتی و ارتفاعی شبکه نقطه کنترل.....۷۹

۲-۳-۵ برداشت مقاطع عرضی.....۷۹

۴-۵ تعیین ضریب زبری.....۸۵

۵-۵ شرایط اولیه و مرزی.....۸۸

### فصل ششم: نتایج و بحث

نتایج.....۹۳

### فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱-۷ جمع‌بندی نتیجه‌گیری.....۱۱۷

۲-۷ پیشنهادات.....۱۱۹

منابع

پیوست

## فهرست اشکال

### فصل اول

شکل ۱-۱ آبشستگی در محل پل..... ۲

### فصل دوم

شکل ۱-۲ گذرگاه پل..... ۱۰

شکل ۲-۲ آبشستگی ناشی از تنگ شدگی..... ۱۱

شکل ۳-۲ آبشستگی پایه کناری پل..... ۱۲

شکل ۴-۲ سیستم گردابی در محل پایه پل..... ۱۴

شکل ۵-۲ تغییرات عمق آبشستگی با سرعت جریان بالادست..... ۱۶

شکل ۶-۲ آستانه حرکت ذرات بستر..... ۱۷

شکل ۷-۲ شکل پایه‌های پل..... ۲۴

### فصل چهارم

شکل ۱-۴ پیوستگی در بازه رودخانه..... ۵۳

شکل ۲-۴ حجم کنترل برای استخراج معادله اندازه حرکت..... ۵۴

شکل ۵-۴ شبکه محاسباتی..... ۵۹

شکل ۶-۴ شبکه تفاضل محدود و تقریب‌های آن..... ۶۰

شکل ۸-۴ فرم خطی معادله پیوستگی حول نقطه  $(i)$ ..... ۶۹

شکل ۹-۴ فرم خطی معادله پیوستگی حول نقطه  $(i + \frac{1}{2})$ ..... ۷۰

## فصل پنجم

- شکل ۱-۵ رودخانه جراحی..... ۷۲
- شکل ۲-۵ پل فلزی مشراگه..... ۷۳
- شکل ۳-۵ موقعیت پل فلزی مشراگه در مسیر رودخانه جراحی در عکس‌های هوایی..... ۷۳
- شکل ۴-۵ رسوبات ریز دانه لای رسی QAL بستر رودخانه جراحی در محل پل (۱)..... ۷۵
- شکل ۵-۵ رسوبات ریزدانه لای رسی QAL بستر رودخانه جراحی در محل پل (۲)..... ۷۵
- شکل ۶-۵ منحنی دانه‌بندی مواد بستر رودخانه جراحی..... ۷۶
- شکل ۷-۵ رسوبات درشت دانه قدیمی QT2 سیمانی شده در محل پل کنار پایه اول سمت راست..... ۷۸
- شکل ۸-۵ بافت رسوبات دانه درشت QT2..... ۷۸
- شکل ۹-۵ مقطع عرضی (۶) در محل پایه پل..... ۸۱
- شکل ۱۰-۵ مقطع عرضی (۱۲) در فاصله ۹۰۰ متری بالا دست پایه پل (ابتدای بازه مورد نظر)..... ۸۱
- شکل ۱۱-۵ مقطع عرضی (۱) در فاصله ۱۰۰۰ متری پایین دست پایه پل (انتهای بازه مورد نظر)..... ۸۲
- شکل ۱۲-۵ مسیر بازهای از رودخانه جراحی در اطراف پل مشراگه و مقاطع عرضی آن..... ۸۳
- شکل ۱۳-۵ مقاطع عرضی درون‌یابی شده با نرم افزار HEC – RAS..... ۸۴
- شکل ۱۴-۵ پوشش گیاهی رودخانه جراحی..... ۸۵
- شکل ۱۵-۵ تخمین ضریب زبری منطقه..... ۸۶
- شکل ۱۶-۵ نمای شماتیک از تعیین ضریب زبری مقطع عرضی رودخانه..... ۸۷
- شکل ۱۷-۵ شرط مرزی بالادست (هیدورگراف ورودی)..... ۸۸
- شکل ۱۸-۵ شرط مرزی پایین دست (منحنی دبی-اشل)..... ۸۹

## فصل ششم

- شکل ۱-۶ موقعیت قرار گیری مقاطع عرضی در بازه مورد مطالعه رودخانه جراحی..... ۹۴

- شکل ۶-۲ تراز سطح آب در محل مقاطع عرضی بازای دبی با دوره بازگشت ۲ ساله..... ۹۴
- شکل ۶-۳ سرعت جریان در محل مقاطع عرضی بازای دبی با دوره بازگشت ۲ ساله..... ۹۵
- شکل ۶-۴ تراز سطح آب در نزدیکی پایه پل بازای هیدروگراف ورودی بالادست..... ۹۵
- شکل ۶-۵ عمق در نزدیکی پایه پل بازای هیدروگراف ورودی بالادست..... ۹۵
- شکل ۶-۶ سرعت جریان در نزدیکی پایه پل بازای هیدروگراف ورودی بالادست..... ۹۶
- شکل ۶-۷ مقادیر برآورد شده عمق آبشستگی با استفاده از معادله فروهلیچ..... ۹۷
- شکل ۶-۸ مقادیر برآورد شده عمق آبشستگی با استفاده از معادله فروهلیچ برای طراح..... ۹۷
- شکل ۶-۹ مقادیر برآورد شده عمق آبشستگی با استفاده از معادله جین - فیشر..... ۹۷
- شکل ۶-۱۰ مقادیر برآورد شده عمق آبشستگی با استفاده از معادله HEC/18 جونز..... ۹۷
- شکل ۶-۱۱ مقادیر برآورد شده عمق آبشستگی با استفاده از معادله نیل..... ۹۸
- شکل ۶-۱۲ مقادیر برآورد شده عمق آبشستگی با استفاده از معادله بلنچ - انگلیس..... ۹۸
- شکل ۶-۱۳ مقادیر برآورد شده عمق آبشستگی با استفاده از معادله ملویل - ساترلند..... ۹۸
- شکل ۶-۱۴ مقادیر برآورد شده عمق آبشستگی با استفاده از معادله شن..... ۹۸
- شکل ۶-۱۵ مقادیر برآورد شده عمق آبشستگی با استفاده از معادله HEC/18 مولر..... ۹۹
- شکل ۶-۱۶ مقادیر برآورد شده عمق آبشستگی با استفاده از معادله بروزرز..... ۹۹
- شکل ۶-۱۷ مقادیر برآورد شده عمق آبشستگی با استفاده از معادله طهماسبی..... ۹۹
- شکل ۶-۱۸ مقادیر برآورد شده عمق آبشستگی با استفاده از معادله جانسون..... ۹۹
- شکل ۶-۱۹ مقدار ضریب  $K_I$  نسبت به  $V/V_C$ ..... ۱۰۰
- شکل ۶-۲۰ مقادیر برآورد شده عمق آبشستگی با استفاده از معادله ملویل..... ۱۰۱
- شکل ۶-۲۱ مقادیر برآورد شده عمق آبشستگی با استفاده از معادله مولیناس..... ۱۰۱
- شکل ۶-۲۲ مقادیر برآورد شده عمق آبشستگی با استفاده از معادله شپارد - میلر..... ۱۰۱

- شکل ۶-۲۳ مقادیر برآورد شده عمق آبشستگی با استفاده از معادله لی - استرم..... ۱۰۱
- شکل ۶-۲۴ عمق آبشستگی بازای دبی های مختلف با استفاده از معادلات تجربی..... ۱۰۳
- شکل ۶-۲۵ نمودار نسبت عمق آبشستگی به عرض پایه در مقابل  $\frac{V}{V_c}$ ..... ۱۰۵
- شکل ۶-۲۶ عمق آبشستگی محاسبه بازای دبی سیل با دوره بازگشت ۲ ساله و عمق آبشستگی اندازه-گیری شده..... ۱۰۶
- شکل ۶-۲۷ عمق آبشستگی محاسبه شده بازای دبی با دوره بازگشت ۲ ساله..... ۱۰۶
- شکل ۶-۲۸ عمق آبشستگی محاسبه شده بازای دبی با دوره بازگشت ۵ ساله..... ۱۰۷
- شکل ۶-۲۹ عمق آبشستگی محاسبه شده بازای دبی با دوره بازگشت ۱۰ ساله..... ۱۰۷
- شکل ۶-۳۰ عمق آبشستگی محاسبه شده بازای دبی با دوره بازگشت ۲۵ ساله..... ۱۰۸
- شکل ۶-۳۱ عمق آبشستگی محاسبه شده بازای دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله..... ۱۰۸
- شکل ۶-۳۲ در صد خطای عمق آبشستگی محاسبه شده..... ۱۰۹
- شکل ۶-۳۳ نمودار نسبت عمق آبشستگی به عرض پایه در مقابل عمق جریان به عرض پایه..... ۱۱۰

## فهرست جداول

### فصل دوم

- جدول ۱-۲ ضریب تصحیح نوع پایه پل  $K_1$ ..... ۲۴
- جدول ۲-۲ ضریب تصحیح زاویه جریان  $K_2$  ( $a$  عرض پایه پل و  $L$  طول پایه پل)..... ۲۵
- جدول ۳-۲ ضریب تصحیح برای شرایط بستر  $K_3$ ..... ۲۶

### فصل چهارم

- جدول ۱-۴ انواع معادلات دیفرانسیل در مهندسی رودخانه..... ۵۸
- جدول ۲-۴ تفاضل‌های محدود صریح و ضمنی..... ۶۲
- جدول ۳-۴ انواع شرایط مرزی..... ۶۶

### فصل پنجم

- جدول ۲-۵ روابط تجربی عمق آبشستگی که برای مدل تعریف شده‌اند..... ۹۰

### فصل ششم

- جدول ۱-۶ بخشی از خروجی برنامه FASTER..... ۹۳
- جدول ۲-۶ تفاضل ماکزیمم و مینیمم مقدار عمق آبشستگی برای هر معادله..... ۱۰۳
- جدول ۳-۶ نتایج معادلات آبشستگی برای دبی سیل با دوره بازگشت‌های مختلف..... ۱۰۴
- جدول ۴-۶ مقادیر درصد خطای اندازه‌گیری عمق آبشستگی..... ۱۰۹
- جدول ۵-۶ مقایسه عمق آبشستگی محاسبه شده و اندازه‌گیری شده توسط احمد و همکاران..... ۱۱۱
- جدول ۶-۶ عمق آبشستگی محاسبه شده با استفاده از روابط تجربی..... ۱۱۲
- جدول ۷-۶ عمق آبشستگی محاسبه شده با استفاده از فرمول‌های مورد مطالعه توسط جانسون..... ۱۱۲

جدول ۶-۸ عمق آبشستگی محاسبه شده با استفاده از روابط تجربی در تحقیق حاضر.....۱۱۳

جدول ۶-۹ عمق آبشستگی محاسبه شده با استفاده از روابط مقایسه شده توسط اِگرید و همکاران.....۱۱۳

جدول ۶-۱۰ مقایسه آبشستگی پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده در آزمایشات شپارد-میلر.....۱۱۴

جدول ۶-۱۱ عمق آبشستگی محاسبه شده با استفاده از روابط تجربی در تحقیق حاضر.....۱۱۵

## نمادها و نشانه ها

$\alpha$  یا  $b$ : عرض پایه پل

$b_e$ : عرض مؤثر پایه پل برای جریان نزدیک شونده به پایه

$B$ : فاصله مرکز به مرکز دو پایه پل

$c$ : سرعت نسبی موج

$C$ : درجه تراکم خاک

$D_{50}$ : اندازه ذره‌های که ۵۰٪ ذرات بستر از آن کوچکترند.

$D_m$ : اندازه میانه ذرات بستر (می‌توان به جای آن از  $D_{50}$  استفاده کرد)

$d_0$  یا  $y_0$ : عمق جریان در بالادست

$y_s$  یا  $ds$ : عمق آبشستگی

$Fr_1$ : عدد فرود در بالادست پایه

$Fr_c$ : عدد فرود برای سرعت بحرانی

$Fi$ : عدد فرود پایه پل (در رابطه مولیناس تعریف می‌شود)

$h_1$ : عمق جریان نزدیک به تنگ‌شدگی

$I$ : شدت بارش

$I_B$ : شدت نفوذ از محیط خیس شده

$IWC$ : مقدار رطوبت اولیه خاک (در رابطه مولیناس تعریف می‌شود)

$K_s$ : ضریب تصحیح شکل پایه پل

$K_1$ : ضریب تصحیح برای شکل پایه

$K_2$ : ضریب تصحیح برای زاویه برخورد جریان با پایه

$K_3$ : ضریب تصحیح برای شرایط بستر (پستی و بلندی)

$K_4$ : ضریب تصحیح برای ذرات بستر زبر

$K_I$ : فاکتور شدت جریان

$K_D$ : فاکتور اندازه ذرات رسوب

$K_Y$ : ضریب تصحیح عمق جریان

$K_S$ : ضریب مربوط به شکل پایه

$K_a$ : ضریب مربوط به جهت‌گیری پایه پل نسبت به جریان



$K_{YW}$ : ضریب تصحیح عمق

$K_{\theta}$ : ضریب مربوط جهت‌گیری پایه و یا دیوار کناری پل با جریان

$K_G$ : ضریب تصحیح هندسه کانال

$L$ : طول پایه پل

$q^{S_1}$ : نرخ انتقال رسوب در واحد عرض

$q_l$ : دبی جانبی در عرض واحد

$R$ : شعاع هیدرولیکی

$S_f$ : شیب خط انرژی

$S_0$ : شیب کف کانال

$u_0$  یا  $V_1$ : سرعت متوسط جریان

$U^*$ : سرعت برشی

$V_{i50}$ : سرعت نزدیک شدن به پایه پل

$V_{C50}$ : سرعت بحرانی برای آستانه حرکت اندازه ذرات  $D_{50}$

$V_{C90}$ : سرعت بحرانی برای آستانه حرکت اندازه ذرات  $D_{90}$

$V_0$ : سرعت نزدیک شدن جریان به پایه پل

$V_c$ : سرعت بحرانی و یا سرعت آستانه حرکت

$V_x$ : سرعت جریان جانبی

$W_1$ : عرض مقطع رودخانه

$\rho$ : دانسیته سیال

$\nu$ : گرانروی سینماتیک

$\rho_s$ : جرم واحد حجم مواد کف بستر

$\sigma$ : توزیع دانه‌بندی مواد کف بستر

$\sigma_g$ : انحراف معیار هندسی آن

$\phi$ : زاویه ایستایی

$\phi$ : ضریب تصحیح برای شکل دماغه در معادله فروهلیچ

# فصل اول

مقدمه و هدف

## مقدمه

رودخانه‌ها از اجزاء مهم طبیعت محسوب می‌شوند و زندگی بشر و سایر موجودات زنده وابسته به این منبع طبیعی می‌باشد. امروزه مهندسين رودخانه، سازه‌هایی را با استفاده از سیستم آب‌های جاری طراحی می‌کنند. احداث سازه‌های آبی در یک سیستم متعادل طبیعی که طی میلیون‌ها سال شکل گرفته است، تغییراتی را در جریان اعمال می‌کند. یکی از مواردی که تحت تأثیر ایجاد سازه‌های آبی در فرآیند طبیعی سیستم‌های آبی ظهور پیدا می‌کند، انواع مختلفی از فرسایش‌های القایی است که می‌توان آن را ناشی از دخالت بشر در یک نظام هماهنگ تلقی کرد. این تغییرات معمولاً باعث افزایش ظرفیت انتقال رسوب در سیال شده و در نهایت منجر به ایجاد پدیده‌ی آبشستگی<sup>۱</sup> خواهد شد. اگرچه چنین تغییراتی در اثر ایجاد سازه‌های آبی رخ می‌دهند، لیکن با وقوع آن‌ها ادامه بهره‌برداری و یا حتی پایداری سازه‌های مذکور می‌تواند در خطر قرار گیرند.

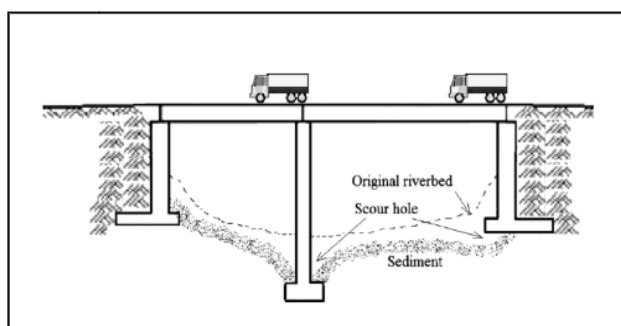
آبشستگی پدیده‌ای است که در اثر جریان آب در رودخانه‌ها و نهرها اتفاق می‌افتد. سازه‌های هیدرولیکی، رژیم یکنواخت جریان و حمل رسوب را بهم می‌زنند. در پایاب این سازه‌ها، سرعت جریان به جهت تنگ شدن مجرا افزایش می‌یابد. سپس در مقاطعی که سرعت جریان کاهش پیدا می‌کند، ظرفیت آبشستگی قویتری مطرح می‌گردد. تجربه در موارد کثیری نشان داده است که آبشستگی می‌تواند به‌طور پیوسته زیر فونداسیون سازه‌ها را خالی کرده، موجبات تخریب سازه را فراهم آورد. دیوارهای ساحلی، موج‌شکن‌ها، اسکله‌ها، پل‌ها و آب‌شکن‌ها از جمله سازه‌هایی هستند که تحت تأثیر پدیده‌ی آبشستگی قرار می‌گیرند.

پل‌ها از جمله مهمترین و پرکاربردترین سازه‌های رودخانه‌ای هستند که در راهسازی از اهمیت زیادی برخوردارند. آبشستگی یکی از دلایل اصلی شکست پل‌ها محسوب می‌شود. بر اساس تحقیقات شیرهال و هلت<sup>۲</sup> (۱۹۹۱)، در سی سال گذشته بیش از یک میلیون پل در ایالات متحده آمریکا فرو

1- scouring

2- Shirhole and Holt (1991)

ریخته و حدوداً ۶۰ درصد تخریب این پل‌ها به آبشستگی فونداسیون پل بستگی دارد. آبشستگی نتیجه عمل فرسایش جریان آب می‌باشد که مواد بستر و کناره‌های رودخانه، اطراف پایه‌ها و دیواره‌ی کناری پل را شسته و با خود حمل می‌کند (شکل ۱-۱). آبشستگی پدیده دینامیکی است که تحت تأثیر پارامترهای زیادی از قبیل عمق جریان، زاویه برخورد جریان به جلو پایه، عرض و شکل پایه و دیوار کناری پل، ویژگی‌های ذرات رسوب و ... می‌باشد. بطور کلی سه نوع آبشستگی وجود دارد که عبارتند از: آبشستگی موضعی، آبشستگی همگرا و آبشستگی ناشی از فرسایش کف رودخانه. آبشستگی موضعی، برداشت رسوبات از اطراف پایه‌ها و دیواره کناری پل می‌باشد. عبور جریان آب در اطراف پایه‌ها و دیواره کناری پل ممکن است چاله‌ای در این محل حفر کند که چاله آبشستگی<sup>۱</sup> نامیده می‌شود (شکل ۱-۱). آبشستگی همگرا ناشی از شتاب جریان در تنگ‌شدگی‌های رودخانه است. در محل احداث پل معمولاً عرض رودخانه نسبت به عرض طبیعی آن کاهش یافته و این عمل موجب افزایش سرعت جریان و در نتیجه افزایش ظرفیت حمل رسوب می‌شود. آبشستگی ناشی از فرسایش کف رودخانه، برداشت کلی رسوبات از بستر رودخانه بوسیله جریان می‌باشد. برداشت رسوبات و گود شدن تدریجی کف رودخانه فرآیندهای طبیعی هستند، اما ممکن است با گذشت زمان مقدار زیادی رسوب از کف برداشته شود (دنگ و کای<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰).



شکل ۱-۱ آبشستگی در محل پل

1- Scour hole  
2- Deng & Cai (2010)